

NÅGRA KÄRNREAKTIONER I LÄTTA OCH MEDELLÄTTA KÄRNOR
INDUCERADE AV HÖGENERGETISK BROMSSTRÅLNING

BENGT FRIBERG

LUND 1973

NÅGRA KÄRNREAKTIONER I LÄTTA OCH MEDELLÄTTA KÄRNOR
INDUCERADE AV HÖGENERGETISK BROMSSTRÅLNING.

Av

BENGT FRIBERG

Fil.kand., Sm

Akademisk avhandling som för avläggande av filosofie
doktorsexamen vid matematisk - naturvetenskapliga
fakulteten vid universitetet i Lund kommer att
offentligen försvaras i Fysiska institutionens
föreläsningssal B tisdagen den 29 maj 1973 kl 10.15.

INSTRUKTIONER FÖR ANVÄNDNING AV HÖRSTÄMMAN
FÖR ATT OCH FÖR ATT FÖRSTÅ

INSTRUKTIONER
FÖR ANVÄNDNING



ANVÄNDNING AV HÖRSTÄMMAN
FÖR ATT OCH FÖR ATT FÖRSTÅ
INSTRUKTIONER FÖR ANVÄNDNING
FÖR ATT OCH FÖR ATT FÖRSTÅ
INSTRUKTIONER FÖR ANVÄNDNING
FÖR ATT OCH FÖR ATT FÖRSTÅ

NÅGRA KÄRNREAKTIONER I LÄTTA OCH MEDELLÄTTA KÄRNOR INDUCERADE AV HÖGENERGETISK BROMSSTRÄLNING

Av

Bengt Friberg, Sm

Föreliggande avhandling bygger på uppsatserna:

- I CALCULATIONS OF MESONIC CONTRIBUTIONS TO (γ, n) REACTIONS
(tillsammans med G Andersson och B Forkman)
Nuclear Physics A171 (1971) 529
- II PHOTOMESON EFFECTS IN (γ, n) AND (γ, p) REACTIONS IN LIGHT
NUCLEI
(tillsammans med G Andersson och B Forkman)
Nuclear Physics A171 (1971) 551
- III RECOIL PROPERTIES OF ^{27}Mg FROM THE $^{27}\text{Al}(\gamma, \pi^+)^{27}\text{Mg}$ REACTION
(tillsammans med I Blomqvist och B Forkman)
Nuclear Physics Report LUNP 7306, accepterad för publicering
i Zeitschrift für Physik
- IV PHOTOPRODUCTION OF ^{24}Na FROM NUCLEI WITH $13 \leq Z \leq 29$
(tillsammans med A Järund och B Forkman)
Nuclear Physics Report LUNP 7303, accepterad för publicering
i Zeitschrift für Physik

De experiment som redovisas i ovanstående uppsatser har alla utförts vid Fysiska institutionens i Lund elektronsynkrotron. Denna accelerator ger gammastrålning, bromsstrålning, där bromsstrålningens toppenergi är kontinuerligt varierbar upp till

1200 MeV. Denna strålning har använts för att bestråla de olika kärnor som varit aktuella vid försöken. Slutprodukterna från de kärnreaktioner som fotonerna orsakar är i vissa fall radioaktiva med sådana halveringstider och sådant sönderfall att de kan studeras med gammaspektroskopiska metoder, vilka ger möjlighet att bestämma sannolikheten, träffytan, för att producera en viss slutkärna.

Då en foton har en energi av storleksordningen några hundra MeV är dess våglängd jämförbar med storleken av de enstaka nukleonerna i en atomkärna. Vid dessa energier blir den dominerande processen för absorption av en foton i kärnan en växelverkan med en enstaka nukleon i denna under bildande av en exciterad nukleon, en isobar. Denna isobar sönderfaller efter en mycket kort tid i en stabil nukleon och en eller flera pioner.

$$\gamma + N \rightarrow N^* \rightarrow N' + \pi^{\pm,0} \quad . . . (1)$$

Just i det ögonblick då fotonen absorberas av nukleonen kan denna betraktas som en fri nukleon, vilket innebär att t ex den differentiella träffytan för reaktionen antas vara densamma som vid pionproduktion mot vätekärnor. Då reaktionen sker i en kärna kommer emellertid pionens och nukleonens riktningar och energier efter reaktionen att också påverkas av den impuls den primära nukleonen hade i det ögonblick då reaktionen skedde. På vägen ut ur kärnan finns många möjligheter för en växelverkan mellan pionen eller rekylnukleonen och de övriga partiklarna i kärnan genom elastiska eller inelastiska processer. Beroende på dessa sekundära reaktioner kan ett brett spektrum av olika slutresultat erhållas.



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41545309_0043

I arbete I har utförts beräkningar av sannolikheten för att just det fall skall inträffa att både pionen och nukleonen från den elementära processen lämnar kärnan utan att växelverka med denna. Detta specialfall innebär (γ, n) eller (γ, p) -reaktioner beroende på om nukleonen som växelverkar med fotonen är en neutron eller en proton. Beräkningarna bygger på en semi-klassisk bild av reaktionen. Ett krav för att reaktionen skall vara av (γ, n) eller (γ, p) -typ är att det inte i kärnan skapas ett partikel-håll-tillstånd med en excitationsenergi som överstiger separationsenergin för den lösast bundna nukleonen i restkärnan. Beräkningarna i arbete I har i energiområdet över 150 MeV jämförts med den av Hylltén ¹⁾ experimentellt bestämda träffytan för reaktionen $^{12}\text{C}(\gamma, n)^{11}\text{C}$. Med antagandet att endast de fyra nukleonerna i $1p_{3/2}$ -skalet i ^{12}C kärnan kan bidra till (γ, n) -reaktionen har en god överensstämmelse mellan beräknade och experimentellt bestämda träffytor erhållits.

Sambandet mellan träffytan (utbytet) för (γ, n) och (γ, p) -reaktioner och antalet löst bundna nukleoner, valensnukleoner, i kärnan har undersökts i arbete II, där bestämmningar av utbyteskurvor för (γ, n) -reaktionen i kärnorna ^{14}N , ^{16}O , ^{19}F och ^{31}P samt för (γ, p) -reaktionen i ^{30}Si redovisas. På grund av svårigheterna att från utbyteskurvor bestämda med bromsstrålning beräkna träffytan för monoenergetiska fotoner har utbyteskurvan för $^{12}\text{C}(\gamma, n)^{11}\text{C}$ från ¹⁾ använts för att beräkna den väntade utbyteskurvan för (γ, n) -reaktionen från en valensneutron. Med hjälp av beräkningarna i I har denna kurva kunnat korrigeras för skillnaderna i storlek på ^{12}C kärnan och kärnorna som studerats i arbete II. En anpassning av de så erhållna kurvorna till de

experimentellt bestämda utbyteskurvorna ger antalet nukleoner som bidrar till reaktionen och överensstämmelsen med vad som väntas från skalmodellen är god.

I mycket speciella fall kan det inträffa att nukleonen från den primära processen (1) får så låg energi vid isobarens sönderfall att den förblir bunden i kärnan. Om samtidigt pionen utan växelverkan lämnar kärnan fås som slutprodukt en dotterkärna som skiljer sig från ursprungskärnan med en laddningsenhet men ingen massenhet, reaktionen blir av typen $(\gamma, \pi^{\pm})$. Reaktioner av denna typ har tidigare vid institutionen studerats av Nydahl et al ²⁾ och Blomqvist et al ³⁾. En utvidgning av dessa mätningar redovisas i arbete III, där rekylegenskaperna hos dotterkärnan studerats experimentellt samt jämförts med beräknade rekylenergier och -riktningar. Resultaten visar att den modell för fotonens växelverkan med kärnan som formulerats i ^{2,3)} och som ger en god uppskattning av träffytan för (γ, π) -reaktionerna också kan förklara restkärnans rekylegenskaper.

I de fall då pionen inte lämnar kärnan utan absorberas i denna kommer kärnan att bli högt exciterad, vilket resulterar i reaktioner, där restkärnan kan skilja sig från ursprungskärnan med åtskilliga massenheter. I ett arbete av Jonsson et al ⁴⁾ redovisas undersökningar av reaktioner av denna typ från ^{127}I . I detta arbete har också bestämts utbytet för produktion av ^{24}Na , en reaktion som inte är energetiskt möjlig som resultat av en kaskad-förångningsprocess, vilken kan förklara reaktioner, där ett mindre antal partiklar emitteras. Genom att studera produktionen av en specifik kärna från kärnor med olika masstal kan man vänta sig information om hur kaskad-förångningsprocessen

ersätts av andra produktionsmekanismer då antalet emitterade partiklar ökar. I arbete IV redovisas första delen av en undersökning av produktionen av ^{24}Na från kärnor med masstal från $A = 27$ och upp till tunga kärnor. Att slutprodukten ^{24}Na har valts beror på att dess långa halveringstid och lämpliga sönderfall gör det möjligt att studera produktionen av denna kärna även i de fall då tvärsnittet är mycket litet. I massområdet från $A = 27$ till $A = 65$, som behandlas i arbete IV, finner vi i likhet med Korteling et al ⁵⁾, som studerat protoninducerad ^{24}Na -produktion, att produktionen av ^{24}Na är i överensstämmelse med förutsägelser baserade på att produktionen sker via en kaskad-förångningsreaktion.

Vid det arbete som ligger bakom uppsatserna har av naturliga skäl skett en viss uppdelning av arbetsuppgifterna. Sålunda har jag till arbete I endast i mindre omfattning bidragit till avsnitten 3.2 - 6. I arbetena III och IV har de kemiska separationerna utförts av mina medförfattare.

Jag vill rikta ett varmt tack till professor Bengt Forkman för den inspirerande handledning som ligger bakom denna avhandling.

Det givande samarbetet med Gert Andersson, Anders Järund och Ingvar Blomqvist liksom den dagliga, oundvikliga kontakten med kärnfotogruppen i dess helhet har varit mycket stimulerande.

Ett speciellt tack till Anders Fredriksson för hans värdefulla bidrag med kemiskt kunnande till mätningarna av ^{27}Mg -rekylar.

Summary

In this thesis the interaction of high-energy photons with nuclei is discussed. Due to the short wavelength of a photon of high energy the primary interaction of photons with nuclei is supposed to be an interaction with a single nucleon in the nucleus forming an isobar, which decays into a stable nucleon and one or more pions. The probability for both the pion and the recoil nucleon to escape the nucleus giving a (γ, n) or (γ, p) -reaction is calculated in paper I. In paper II are presented experimentally-determined yield curves for some (γ, n) and (γ, p) -reactions and together with the calculations in I it is shown that only nucleons in the upper shells may contribute to the reactions. When the recoil nucleon remains bound and the pion escapes the nucleus the result of the primary interaction may be a (γ, π) -reaction. The recoil properties of ^{27}Mg from the (γ, π^+) -reaction in ^{27}Al are presented in paper III. In those cases where the pion is absorbed in the nucleus the result is a highly excited nucleus, which may emit a large number of nucleons. Reactions of this kind are studied in paper IV, where the cross-sections for the production of ^{24}Na from nuclei with mass numbers $A = 27 - 65$ are presented.

Referenser

- 1) G Hyltén, Nucl Phys A158 (1970) 225
- 2) G Nydahl et al, Nucl Phys B7 (1968) 97
- 3) I Blomqvist et al, Nucl Phys A162 (1971) 193
- 4) G G Jonsson et al, Nucl Phys A153 (1970) 32
- 5) R G Korteling et al, J Inorg Nucl Chem 29 (1967) 2863

